



Ultralight Structures for a Future Lunar Base

Ultraleichte Strukturen für eine zukünftige Mondbasis

Joachim Block, Christian Hühne, Tom Sprowitz und Marco Straubel
DLR – Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik, Braunschweig



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

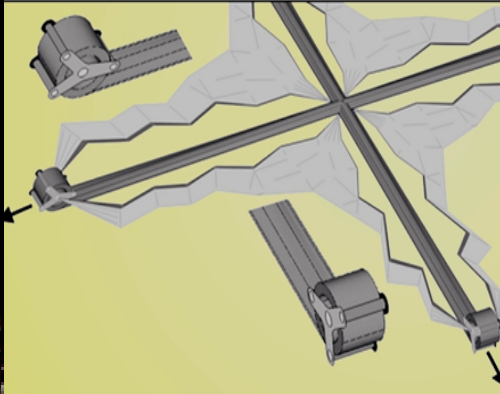


Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

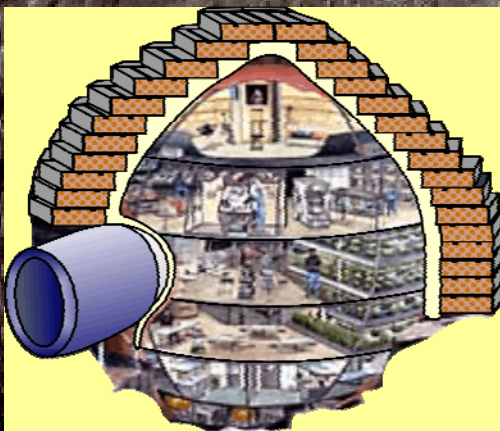
Das Grundproblem

1. Wegen der extremen Transportkosten (Größenordnung 10^5 €/kg) müssen alle Bauteile für lunare Basen so leicht wie möglich sein.
2. Wegen des geringen Stauraums beim Start (etwa unter dem Fairing einer Ariane-5), aber auch in Mondlandefahrzeugen, müssen alle großen Bauteile auf kleinstem Raum gestaut und am Bestimmungsort entfaltet oder aufgeklappt werden können.

Unsere Lösungsvorschläge

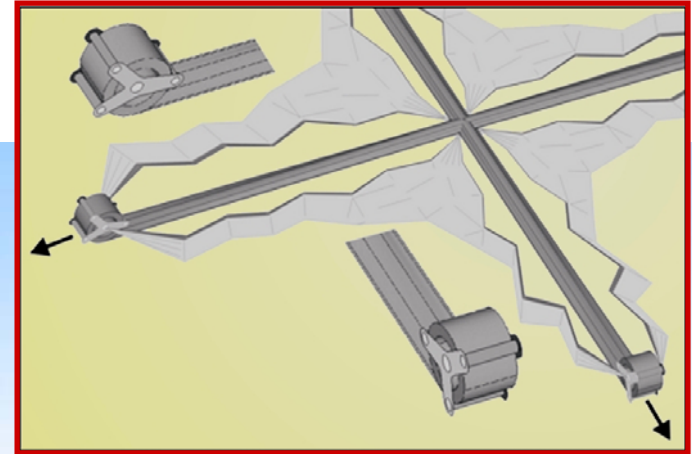
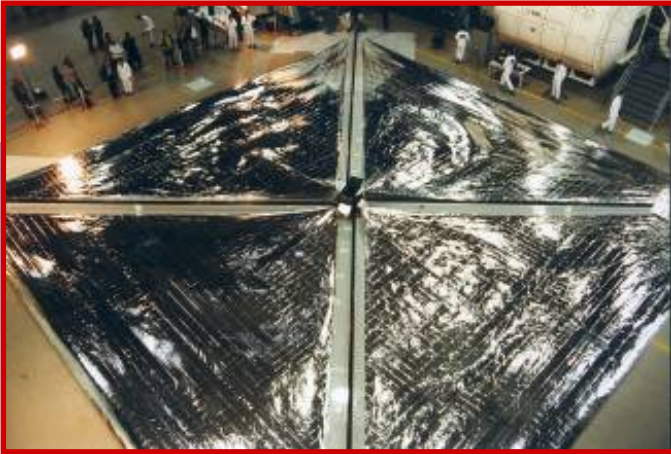


1. Abrollbare CFK-Booms zum Errichten von Zeltdächern und anderen leichten Dachkonstruktionen (etwa zum Schutz von Anlagen, Fahrzeugen und Instrumenten vor direkter Sonnenbestrahlung)

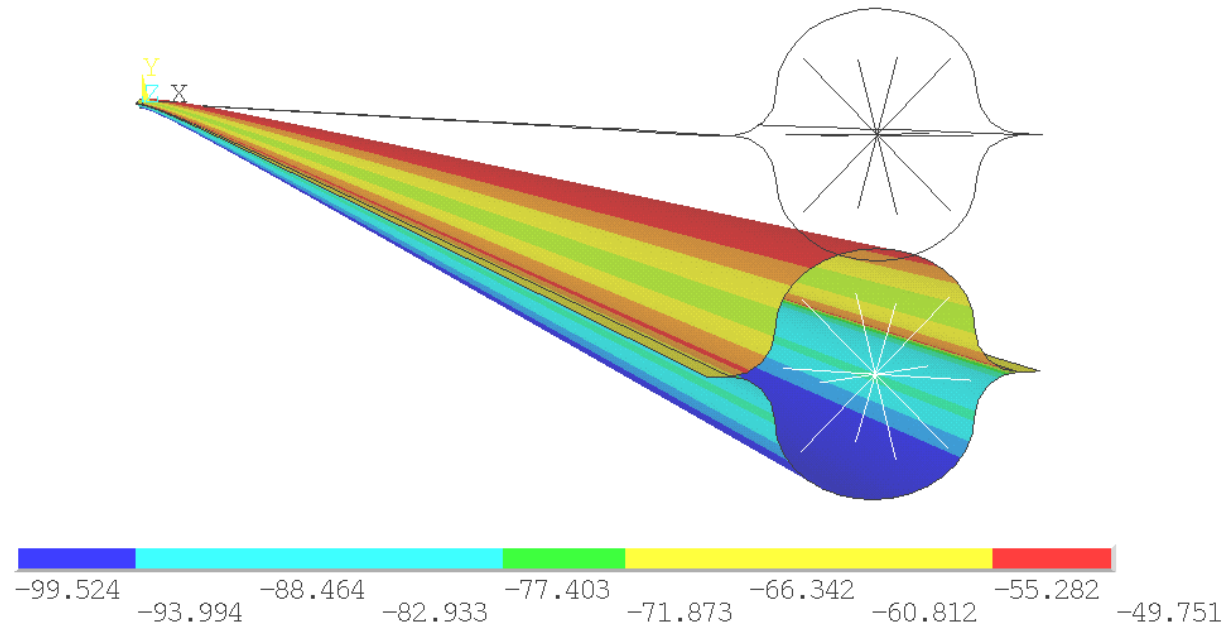
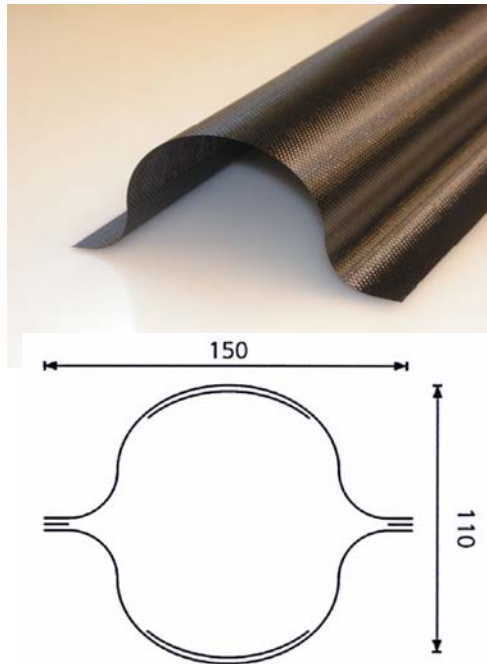


2. Ultraleichte, flach stapelbare und vor Ort aufklappbare CFK-Segmente, die zum Strahlenschutz mit Regolith befüllt werden und zu dickwandigen Bauten zusammengesetzt werden können

Übertragung der Solar-Sail-Boomtechnologie auf lunare Zelte



Entwicklung abrollbarer ultraleichter Booms bei DLR-FA



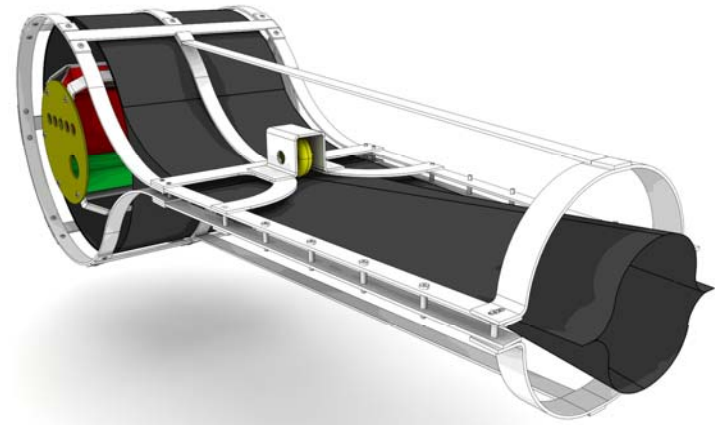
- Wandstärken von nur 0.1 mm
- spezifische Masse zwischen 60 und 100 g/m (je nach Lagenfolge)
- entsprechende Biegesteifigkeiten (in x-Richtung 2500-5300 Nm²)
- Wärmeausdehnung minimal $< 0.5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ – sehr gut für lunare Thermalumgebung
- Stabilitätsverhalten und thermoelastisches Verhalten sind gründlich untersucht

Entwicklung abrollbarer ultraleichter Booms bei DLR-FA



Zwei Entfaltungsoptionen

Die Entfaltung mit ausrauschenden Abrollmechanismen („Expendable Deployment Mechanisms“) ist am vorteilhaftesten für **Solar Sails**, weil die vom Lichtdruck zu beschleunigende Masse damit minimiert wird.



Hingegen ist die Entfaltung mit dünnen aufblasbaren Schläuchen vorteilhafter für **Fachwerkstrukturen („Zeltstangen“)** auf dem Mond. Die Booms können auch noch mit aushärtenden Substanzen nachträglich versteift werden.



Erfolgreiche Erprobung der Entfaltung unter Zero-G



Die stabile Entfaltung der ultra-leichten CFK-Booms unter Zero-G-Bedingungen wurde im Februar 2009 im Rahmen der 13. DLR-Parabelflugkampagne erfolgreich verifiziert

Zelt- und Dachkonstruktionen werden notwendig sein – können aber dickwandige Habitate nicht ersetzen

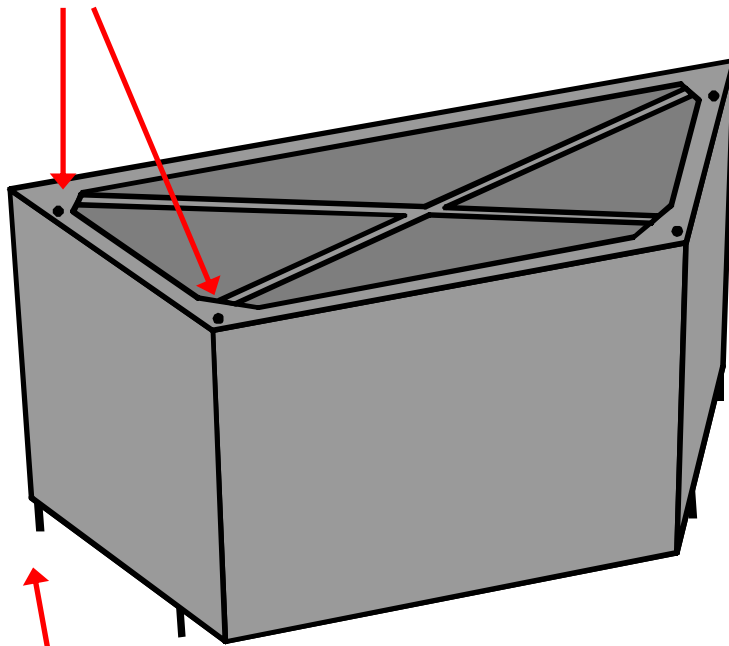


Für die Astronauten selbst reichen dünne und leichte Konstruktionen nicht aus. Aus Strahlungsschutzgründen müssen ihre Habitate

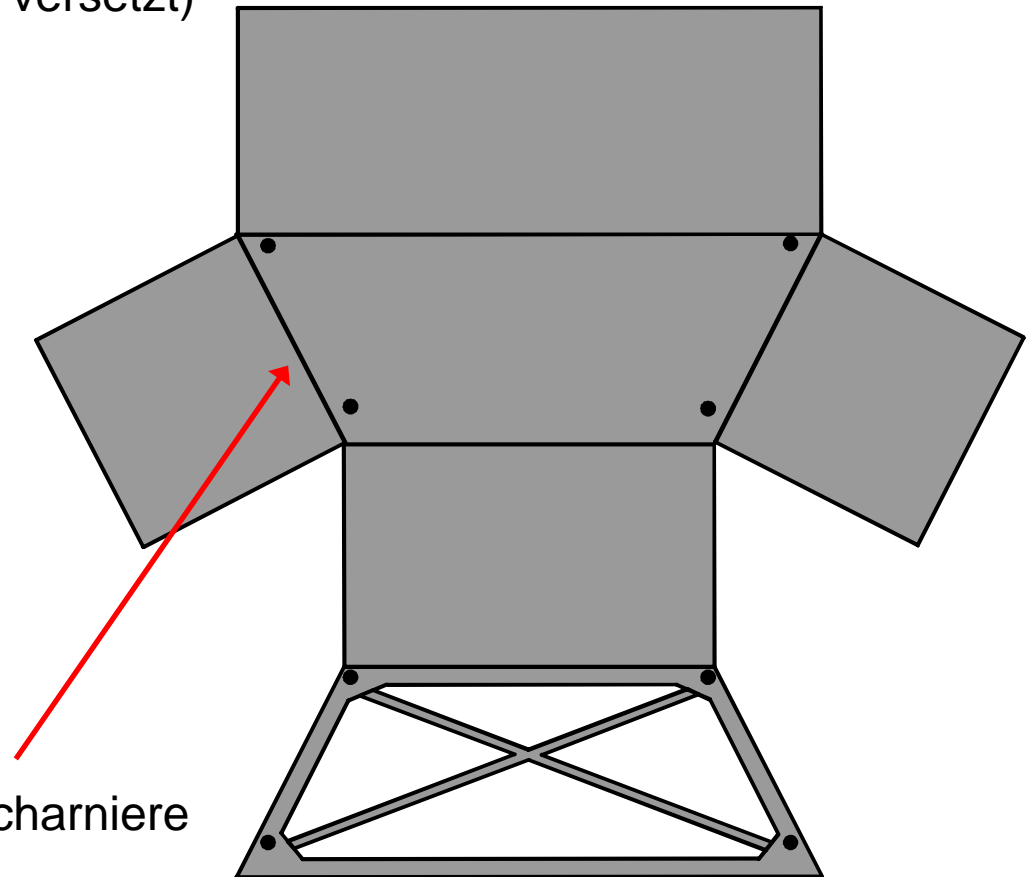
- entweder tief im Boden vergraben werden (*sehr aufwändig*),
- oder aus massiven, die Strahlung gut absorbierenden Werkstoffen bestehen (*zu schwer*),
- oder sehr dicke hohle Wände haben, deren Innenvolumen sich vor Ort leicht mit Regolith befüllen lässt (*vielversprechendster Weg*).

Dünnwandige CFK-Segmente zum Aufklappen / Befüllen

Zapfenlöcher
(gegenüber den Zapfen nach innen versetzt)




Zapfen



CFK-Filmscharniere



Lunares Habitat aus regolithgefüllten CFK-Segmenten



Segmente mit (z.B.) 1 m Innen- und 1,10 m Außenkantenlänge und 0,4 m Höhe könnten mit 1 mm dicken CFK-Wänden sehr stabil ausgeführt werden.

Bei einer Schutzwanddicke des Habitats von 1 m hätten sie eine Masse von etwa 5 kg, bei einer Schutzwanddicke von 2 m etwa 8 kg, bei 3 m etwa 11 kg.

Mit dem Volumen für die Filmscharniere und Zapfen würde jedes dieser Elemente beim Transport zum Mond eine Stapelhöhe von nur etwa 1 cm benötigen !

Regolith als strahlungsabsorbierender Füllstoff



Der Regolith könnte im einfachsten Fall von Hand in die Kästen geschaufelt werden, ansonsten sind Förderbänder oder dergleichen vorstellbar

Pyroxen (Mg,Fe,Ca)SiO ₃	31%
Plagioclase CaAl ₂ Si ₂ O ₈ / NaAlSi ₃ O ₈	16%
Ilmenit (Fe,Mg)TiO ₃	6%
Olivin (Fe,Mg) ₂ SiO ₄	1%
Glas (Komposition: wie chem.)	46%

Lunares Habitat aus regolithgefüllten CFK-Segmenten

